

石神井公園における夏季のクールアイランド現象

Cool island phenomena in Shakujii Park in summer

坂口美優¹・赤坂郁美

専修大学文学部

1: 2014年度卒業

Miyu Sakaguchi and Ikumi Akasaka

Department of Geography, Senshu University

要旨 東京都練馬区の石神井公園における夏季日中・夜間のクールアイランド現象の特徴を気象観測によって調査した。結果として、晴天日に公園内で気温が最も低くなる場所は、日中は日射遮蔽効果と蒸散効果を併せもつ樹林地であり、夜間は放射冷却の進みやすい芝地であった。日中・夜間ともに、公園面積の約24%を占める池周辺で最低気温が観測されるわけではなかった。池の冷却効果は、水温と気温の差が大きくなる日中には顕著にみられる一方で、夜間は地下水の吐出口等による水流がないところでは、明瞭にみられないことが示唆された。また日中には、公園で生成された冷気が、卓越風向(南よりの風)の風下である公園の北側市街地へと広がる傾向がみられた。夜間(3:30)には、一部の地点で公園内から公園外へと流出する微風が観測され、低温域が公園の南北に広がる様子も捉えることができた。夜間の公園内平均気温は、池を中心とする凹地部分で低くなる傾向にあり、凹地に冷気が十分に溜まった後に公園外へとにじみ出している可能性がある。公園内平均気温は、公園外と比べて日中には約1℃、夜間には最大約0.8℃低いことがわかった。

1. はじめに

近年都市部ではヒートアイランド現象が顕在化しており、都市の熱環境を緩和する効果をもつものとして、都市内緑地に注目が集まっている。緑地では、樹木による日射の遮蔽効果や葉面からの蒸散作用により気温の上昇が抑制され、周辺市街地よりも気温が数℃低くなる「クールアイランド現象」がみられる。たとえば成田ほか(2004)は夏季に新宿御苑で気象観測を行い、日中には約2℃、夜間は1～3℃程度、緑地が低温になることを示した。また丸田(1972)は、晴天静穏な夜間には、放射冷却などにより生成された冷気が緑地内に蓄積し、それが重力流的に周辺市街地へとゆっくりと流れ出る「冷気のにじみ出し現象」がみられることを指摘した。この現象は、冷気が公園緑地から全方向に流出するという特徴をもつ。このように、これまで様々な規模、場所の公園緑地における冷気の実測調査により、緑地における冷気の生成や流出過程が明らかになってきた。これらのクールアイランド現象を、都市の熱環境緩和策として活かすためには、今後、冷気を生成しやすい緑地内の土地利用や土地被覆、冷気が公園外へと流出しやすい立地条件に着目して調査を行う必要がある。そこで本研究では、これらの点に着目して、クールアイランド現象の特徴を調査することとした。調査対象地域は、ヒー

トアイランド現象が顕著である東京都区部の中でも、夏季に都内最高気温が最多頻度で観測される練馬区にある石神井公園とした。石神井公園は、都市部の公園の中でも公園全体の面積に対して池の占める面積割合が大きい公園である。日原(2007)や尹ほか(1998)は、石神井公園内で低温域を作り出している場所は樹林地と、池の水面であるとしている。水には蒸発の際の気化熱により周囲の温度を下げる効果があるため、水域の面積が大きいほどその効果も大きくなると考えられる。そのため、本研究では、特に水域のもつ冷却効果に着目し、先行研究では示されていない石神井公園とその周辺市街地の気温分布と、気温の日変化特性を明らかにすることを目的とする。また夜間の観測を行うことにより、冷気のにじみ出し現象の有無や冷却効果の範囲についても調査を行う。

2. 調査地域の概要

調査対象地域は東京都練馬区の南西部に位置する石神井公園及びその周辺市街地である(図1)。公園全体の面積に対して水域(池)の面積が比較的大きく、公園内には芝生面や裸地、水面や舗装面といった土地被覆が見られる。公園面積は約225,650m²(東京都公園協会)で、園内西側の三宝寺池の面積(約24,000 m²)と園内東側の石神井池の面積(約30,000 m²)を合わせると、石神井公園全体の面積の約24%となる。三宝寺池では地下水が汲み上げられており、石神井池には三宝寺池の水が流れ込んでいる。公園周辺の多くは住宅地であるが、小中学校や寺院、図書館などの施設も存在する。また、旧早稲田街道や富士街道など交通量の多い道路が、公園中心部からそれぞれ南北に約300m離れたところを通っている。公園とその周辺の地形をみると、池周辺の標高が低く、そこから離れるにつれて標高が高くなってゆく箇所が多い。この起伏が、日中のクールアイランド現象や冷気のにじみ出し現象に与える影響についても着目する。



図1. 石神井公園とその周辺の空中写真

地理院地図掲載の空中写真から作成。白い太線は石神井公園の敷地を示し、白い細線と破線は等高線を表している。

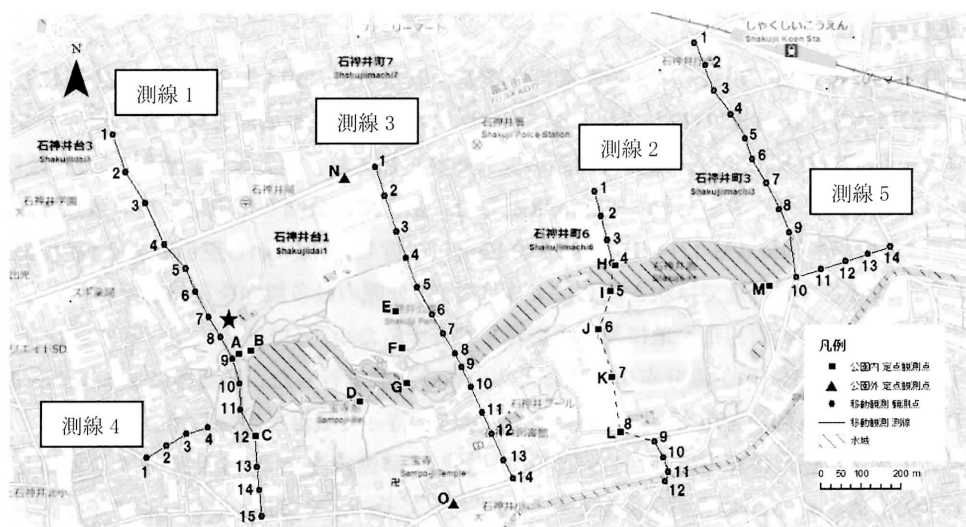


図2. 定点観測地点分布と移動観測ルート（星印はアメダス練馬観測点を示す）

3. 調査方法と使用データ

(1) 気温の定点観測

気温分布と気温の日変化特性を調査するために、公園内13か所と公園外2か所に温度センサ付きデータロガー（T&D社 TR-52i）を設置し、2014年8月6日～9月6日までの間、10分間隔で気温の定点観測を行った（図2）。ロガーには自作の自然通風式日射遮蔽シェルターを被せ、公園内のフェンスや樹木の添え木などの高さ約1.5mに設置した（写真1）。夏季の卓越風向を考慮し、南北の風が通る向きにシェルターを向けた。各観測地点の設置環境の概要を表1に示す。

表1. 定点観測地点の設置環境

地点	概要
A	三宝寺池西側の階段を上った地点。松の風公園に面する道路上。
B	A地点の階段を下った地点。日光はほぼ当たらない。
C	公園南西部。公園内の全地点の中で最も標高が高い。
D	三宝寺池南側。南側に斜面と樹木があるため日光が当たらない。
E	A地区野球場の南側。B地点と標高がほぼ同じ。地表面は芝生。
F	E地点とG地点を結ぶ通路の中間点。A地点と標高がほぼ同じ。地面はコンクリート。
G	三宝寺池北東部。日当たりが良い。公園西側の地点の中で最も標高が低い。
H	石神井池北側。道路に面する。全地点の中で最も標高が低い。
I	石神井池南側H地点の向かい岸。
J	芝生広場内の木。日中も木陰となる。
K	B地区野球場脇。周辺に樹木はなく、全地点の中で最も日当たりが良い。
L	公園南端。小規模な樹林地となっている。
M	公園東部。駐車場に面している。
N	公園外。石神井中学校校舎の北側。
O	公園外。石神井小学校北側のフェンス。



写真1. 定点観測点（地点N）の設置の様子
（2014年8月4日撮影）

(2) 気温の移動観測

夜間の冷氣のにじみ出し現象とその冷却範囲を調査するために、2014年8月19日22:00(にじみ出し発生前)と2014年8月20日3:30(にじみ出し発生時刻)に自動車で気温観測を行った。温度センサ付きデータロガー(T&D社RTR-52A・52S)を前述のシェルターに入れ、自動車の高さ約1.5mに設置した。走行速度は、排熱の影響も考慮し15~20km/hとした。加えて、公園と市街地の境界地点3か所に熱線式風速計(佐藤商事社製AM-4214SD)を高さ約1.5mに設置し、19:00から翌6:00まで1秒間隔で風速を観測した。地点CとH付近では吹き流しにより目視で2分間の最多風向を記録した。

公園内の冷氣が日中の周辺市街地に及ぼす影響を調査するため、ほぼ同様のルートで2014年8月18日と22日に、徒歩で14:30の気温分布を求めるための移動観測を行った。観測器にシェルターを被せ、各地点のできるだけ直射日光が当たらない場所で1分ほど待って気温を記録した。

クールアイランド強度の算出には、公園外の気温として移動観測で得た気温データを使用した。公園内約16地点、公園外約20地点の気温をそれぞれ平均してその差を算出し、クールアイランド強度とした。公園外地点は、公園より100m以上離れており、地点数は観測時刻により異なる。にじみ出しによる冷却効果の範囲は、梶山(2010)と同様に公園外平均気温と気温プロファイルが一致するまでの範囲とした。

(3) 池の水温観測

日中・夜間に低温域を形成している可能性が高い三宝寺池と石神井池で水温観測を行った。気温の定点観測結果をうけて水温観測を行ったため、10月の観測となった。8月と10月では気温や日照時間等の気象条件が異なるが、できるだけ8月の気象状況下に近い結果が得られるよう、気温が高かった2014年10月14日に観測を行った。この日は0:00頃に3mm未満の降水があった以外は、後述する晴天日の条件に当てはまる日であった。温度センサ付きデータロガー(T&D社RTR-52A)を用いて、6地点で水深5cmの水温と、水面から高さ1.5mの気温を観測した。そのうち3地点では水深40cmの水温も観測した。

(4) 使用データと晴天日の抽出条件

観測日の気象状況の確認や観測結果との比較を行うために、石神井公園付近にある気象庁によるアメダス練馬の風向、風速の10分値を使用した。観測期間中の晴天日を抽出するために、定点観測期間のアメダス練馬における日照時間および降水量の10分値と、東京管区気象台(大手町)の3時間ごとの雲量データも使用した。晴天日は、1日の合計日照時間が6時間以上で降水のない日とした。

4. 結果と考察

(1) 晴天日の気温日変化と日中の気温分布特性

12~16時の平均気温分布をみると、公園東側は、西側と比較して約1℃~2℃気温が高くなっており、日射の影響を受けている可能性が高い(図4左)。対して、樹林地で日中もほぼ日陰となる公園西側の地点A、Dでは、東側の地点K、Lと比較して約3℃気温が低い。この傾向は8:30から15:30にかけて見られ、18時頃までは地点A、Dで気温が最も低かった(図4右、分布図は略)。日没後の20:00以降は地点Eで最も低温となり、0:00~4:00頃までは他の地点と比較して約0.5~1.5℃低くなる(図4

右)。地点Eは地表面が芝生であり、樹木も密集しておらず天空率が高いため、放射冷却が進みやすく、他の地点よりも晴天日夜間に気温が低下する傾向にあると考えられる。同じ芝生面に位置する地点Kも日中は気温が高くなるが、日中から夜間にかけては顕著な気温低下がみられ、13:00頃から0:00頃にかけて約7℃気温が低下する(図4右)。これらの地点では日の出時刻である5:00から6:00頃にかけて気温が急上昇する点も共通している。結果として、晴天日には公園外2地点(地点N、O)は公園内(西側)地点より高温である場合が多く、どの時間帯においても特に公園西側で低温域が形成される傾向にあることがわかった(図略)。

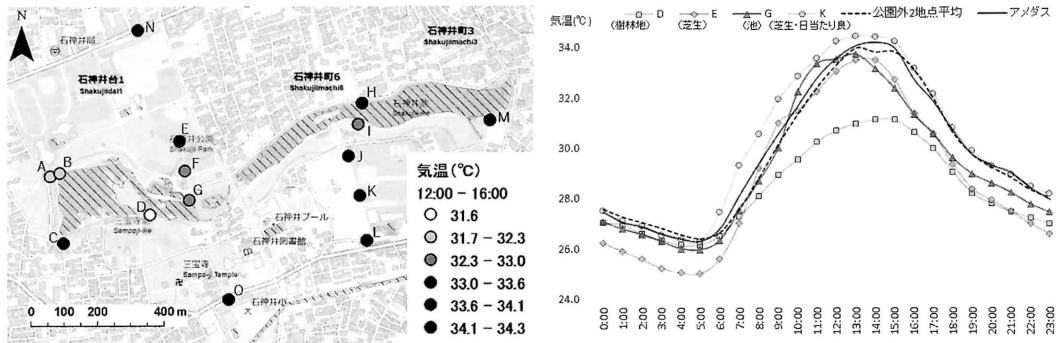


図4. 晴天日における12～16時平均の気温分布(左)と気温日変化(右)

晴天日は8/7, 11, 18, 19, 20, 22日(7日間)。地点Dは欠測が生じたため、8/14以前のデータのみ使用した。右図は、公園内地点D, E, G, Kと公園外2地点及びアメダス練馬における晴天日平均の気温時系列である。

これは石神井公園におけるクールアイランド現象の発生を意味している。気温の移動観測日のクールアイランド強度を算出すると、日中(14:30)は約1℃、夜間(22:00および3:30)は日ごとに値が異なり、約0.3～0.8℃であった。これらの値は、成田ほか(2004)が示した新宿御苑のクールアイランド強度より小さいが、これは公園の規模の違いによると考えられる。

次に日中に公園内に形成される冷気により詳細な分布特性を、気温移動観測日の14:30の気温分布より考察する。図5をみると、両日ともに測線1～3では公園北側の市街地で南侧よりも低温になる傾向がみられる。北側と南侧の市街地の気温差は平均約0.5℃で、22日の測線2では約2.5℃の顕著な気温差がみられた(図5下)。両日とも14:30前後の卓越風向は南風であることから(図6)、卓越風によって公園内の冷気が北側市街地へと広がっていると考えられる。卓越風による移流の影響が特に大きいと考えられる測線2の北側市街地の道路は、他の測線より人や自動車の通行が少なく、排熱による影響や冷気の広がりを妨げる風の乱れが少ない。そのため、公園内の冷気が卓越風によって運ばれやすいと推測できる。さらに、この道路は住宅や庭木で日射が遮られる箇所が多く、公園からの冷気が移流しやすい環境である可能性もある。公園東西に位置する測線4と、測線5の地点10～14では、18日に33.3～34.9℃(全測線の平均は33.1℃)、22日に35.2～37.5℃(全測線の平均は35.3℃)の比較的高い気温を観測した。これは、公園の東西では、卓越風により公園外へと運ばれる冷気の影響を受け

くいことを示唆している。また、測線1の地点1～3では、地点4～5と比較して $0.2\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ 低温になっている。地点1～3周辺は団地であるが、小規模な樹林地や芝生面を含むため、その冷却効果が現れていることも考えられる。

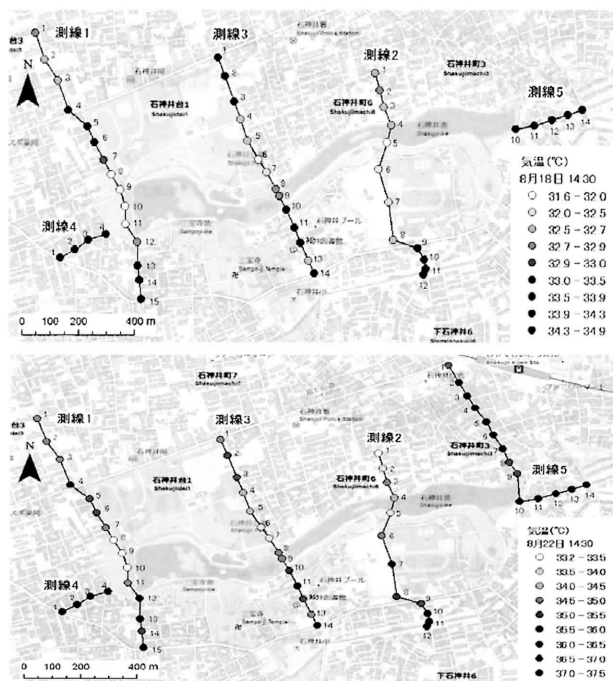


図5. 8月18日(上)と22日(下)14:30の気温分布

(2) 夜間における気温分布特性

観測日の夜間は、アメダス練馬における雲量が3:00までおおむね0で、風速は夜間を通して 1.5m/s 以下であったため(図7)、にじみ出し現象が発生しやすい晴天・静穏な夜間であったと言える。気温分布を見ると、いずれの時刻にも公園内または公園に面した道路上(測線3地点6～10)の気温が低く、公園内に冷氣が形成されていることがわかる(図8)。22:00には、測線1の公園内地点と測線2の石神井池周辺および北側の住宅街で、3:30には、測線2の公園内地点と測線3の南側の地点で特に気温が低い。ただし、公園内は自動車で通行できないため、測線2の公園内地点の値は定点観測から得た値である。そのため、自動車で観測した気温よりも低温傾向となる可能性がある。

前述したように夜間の芝生面では放射冷却が進むため、特に低温になっていると考えられる。これを確かめるため、気温断面分布を図9に示す。分布図

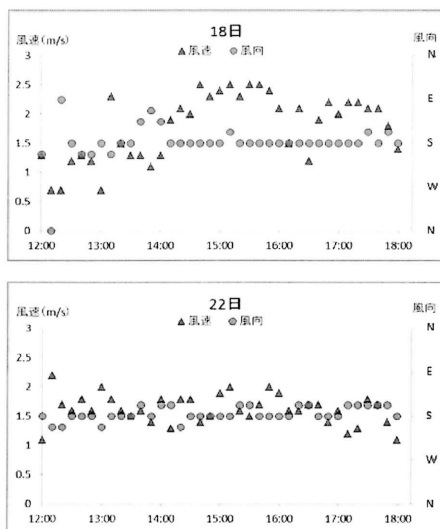


図6. 8月18日(上)と22日(下)のアメダス練馬の風向・風速

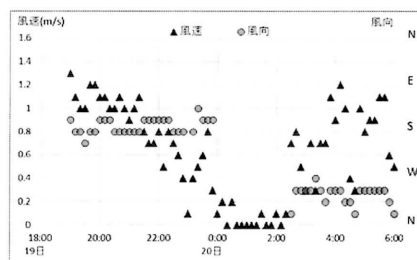


図7. 8月19日19:00～20日6:00のアメダス練馬の風向・風速

には地形と冷気の広がり方との関係性を探るために、測線上の地形も併せて示した。測線2において最も標高の低い地点5では、22:00、3:30ともに気温が最も低くなっている。たとえば、地点5の南側斜面上から卓越風によって冷気が移流したり、重力流的に斜面を下りた冷気が地点5付近に溜まることにより、低温になっていると推測される。

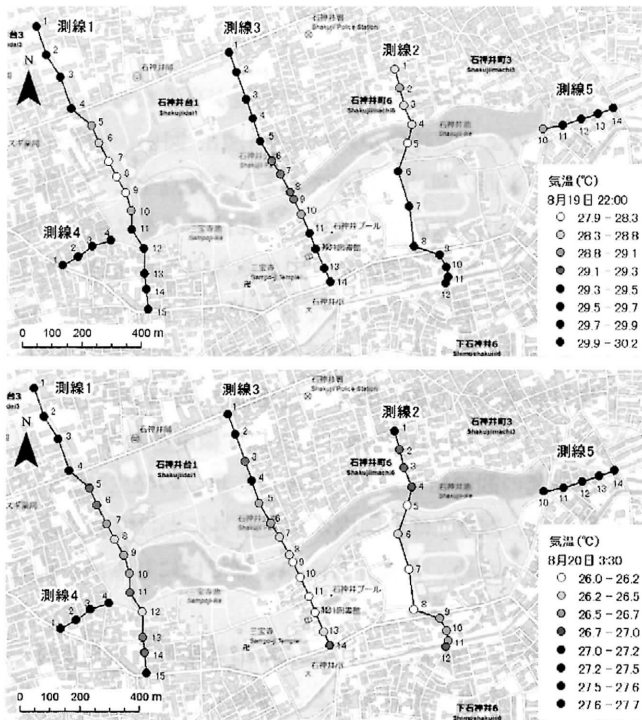


図8. 8月19日22:00(上)と20日3:30(下)の気温分布

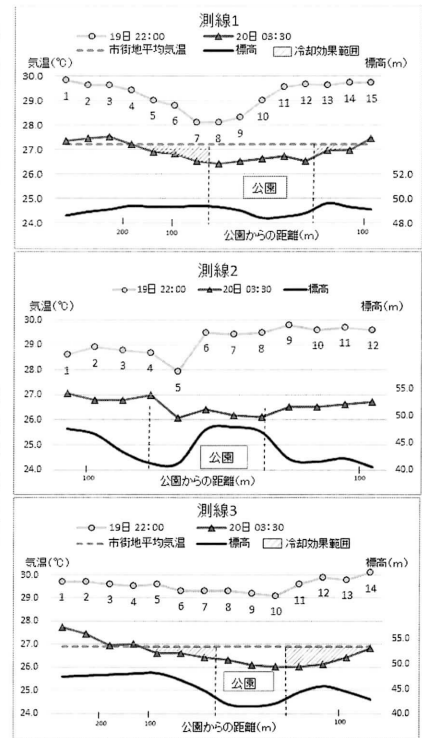


図9. 22:00と3:00の気温断面分布

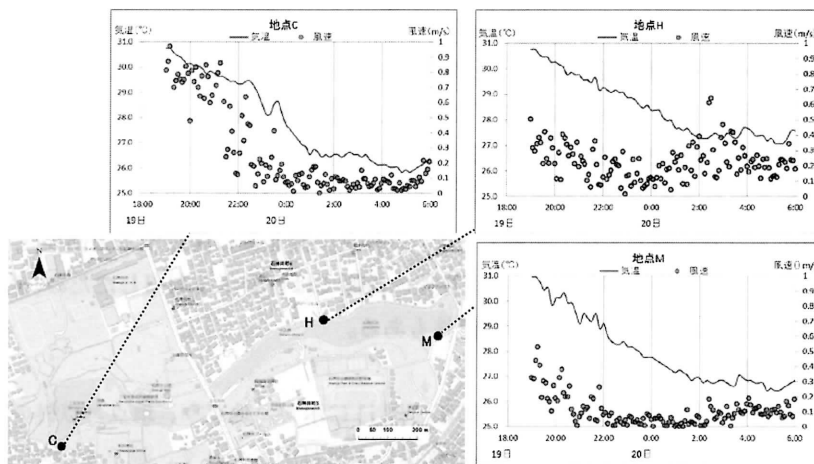


図10. 地点C, H, Mにおける8月19日19:00～20日6:00の風速と気温

しかし同様に標高の低い地点9では、22:00の気温は測線上で最も高い。付近の道路を通行する自動車の排熱が影響している可能性もある。また測線2の地点1～4には約8mの標高差があるにも関わらず、標高の高い地点1と地点2においても比較的気温が低い。そのため、測線2では標高が低いところに必ずしも冷気が溜まるとはいえない。測線3においては、22:00、3:30ともに標高が低い場所で気温が低くなっている(地点8～10)。よって、測線3では標高の低いところに冷気が溜まりやすくなっている可能性がある。

(3) 冷気のにじみ出し現象とその影響範囲

既存研究では、にじみ出し現象発生時に、公園内から公園外に向かって気温が高くなることが示されている。本研究でも、測線1と測線3においてそのような特徴がみられた(図8、図9)。図10は、公園外へ流出する気流の有無を確認するために行った夜間の風速の様子である。3地点全てで、観測を開始した19:00以降に風速が弱くなり、0:00以降は0.5m/s以下となった。これはアメダス練馬の風速の時間変化とは異なる特徴であるため(図7)、公園と市街地の境界地点でのみみられた現象であると考えられる。風速の変化は気温変化と対応しており、風速が弱まるにつれて気温が低下している。1:00以降は気温の変化は緩やかになり風速にも大きな変化はみられない。同様の特徴は、清水ほか(2011)や成田ほか(2011)により観測されたにじみ出し現象発生時にもみられる。公園境界付近の風向にもアメダス練馬とは異なる特徴がみられ、3:30には地点Cで公園から市街地へ吹き出す微風を観測したが(図略)、風向・風速の観測地点数が少ないため、本研究の観測結果からにじみ出し現象の発生を断定することは難しい。しかし、14:30や22:00頃と比較して、3:30頃は公園内から公園外にかけての気温変化が緩やかになるといった気温分布の変化が確認できたため、石神井公園の一部ではにじみ出し現象が発生している可能性が高い。

次に、にじみ出し現象が発生した可能性が高い測線1と測線3を対象に、冷却効果の範囲を検討した(図9)。市街地平均気温と気温プロファイルが一致する点に着目すると、測線1の北側では公園から地点4までの180m、南側では公園から地点14付近までの100mが冷却効果の範囲となる。測線3の北側では公園から地点4までの120m、南側では公園から地点14までの150mが冷却効果の範囲となる。しかし、公園の冷気の影響が公園外100mから180mまで及ぶという結果は、既存研究の結果と比較すると、石神井公園の規模(面積225,650m²)に対してあまりにも広すぎる。たとえば、成田ほか(2004)では新宿御苑(面積583,000 m²)におけるにじみ出しの冷却範囲を80～90mとしており、東海林ほか(2010)では高師緑地(面積241,700 m²)の冷気が市街地へ影響する範囲を60m以上としている。そのため、本研究で示された夜間の冷却範囲は、石神井公園の冷気のにじみ出しの影響だけを示しているわけでないと考えられる。たとえば、測線1では、石神井公園北側に隣接する公園の芝生面における冷却効果も加わっている可能性がある。また、夜間の観測では自動車を利用したため、観測車の排熱や、測器の時定数による誤差が含まれている可能性もある。

(4) 池による冷却効果

三宝寺池と石神井池で行った水温観測の結果を図11に示す。地点ウ、地点エ以外の地点では14:00、19:00ともに気温より水温の方が低い。気温と水温の差は日中に大きく、地下水の吐出口付近(地点アと地点オ)でその差が特に大きい。気温の定点観測結果からは、夜間に水面からの冷却効果が小さくな

る傾向がみられた(図略)。これは、そもそも池の水温と気温の間にそれほど差がなかったためであることが図11からわかる。水は比熱が大きいため、夜間は気温よりも温度が下がるのに時間がかかり、気温との差が大きくなりにくいと考えられる。また地点ウでは、水温が気温を上回っているため、夜間に池は熱源として作用している可能性がある。水深による水温の違いは、吐出口に近い地点オでのみみられた。これは、池が熱源となりうる夜間でも、冷たい水が注がれる吐出口付近であれば池は冷却効果を持つことを示唆している。

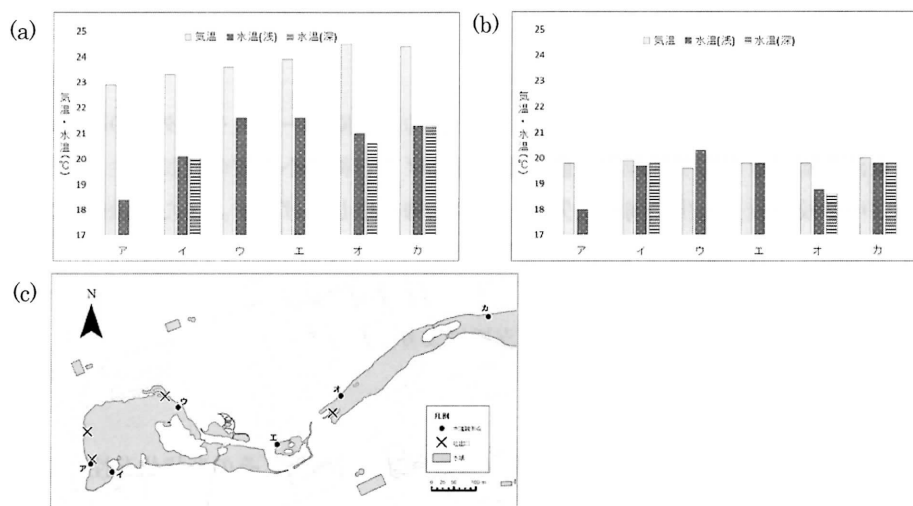


図11. 2014年10月14日14:00 (a)と19:00 (b)の各地点における水温と気温
(a), (b)の横軸は地点名で, (c)は観測地点分布である。

5. まとめ

東京都練馬区内の石神井公園において、日中のクールアイランド現象を観測することができた。また気温分布や風向・風速の時間変化から、夜間には、にじみ出し現象が発生している兆候がみられた。本研究における石神井公園のクールアイランド強度は日中で約1℃、夜間で約0.3～0.8℃であった。面積の広い池においては大きな冷却効果があるという仮説を立てて調査を行ったが、結果として、石神井公園で最も大きな冷却効果を生み出すのは、日中は樹林地、夜間は芝生面であった。公園内の他地点と比較して日中の樹林地では最大3℃ほど、夜間の芝生面では1.7℃ほど低温となった。しかし池に冷却効果が全くないわけではない。日中に水面に日射が当たりにくいように樹林を配置して日射を遮蔽し、卓越風によって水表面に流れができるような場所に吐出口を配置して、温度の低い水を広範囲に巡らせることで、池の冷却効果をより熱環境の緩和に活かすことができると考える。

夜間における気温と風向・風速の観測結果より、公園内で生成された冷気は、3:30頃に0.5m/s以下の微風によって周辺市街地へとにじみ出している可能性が高いことがわかった。一部の観測地点では公園から周辺市街地へと吹き出す風向の微風が観測された。14:30や22:00と比較して、3:30頃に公園内から公園外にかけての気温変化が緩やかになったのは、にじみ出し現象の影響であると考えられる。

また、日中の卓越風が公園内の冷気を公園北側の周辺市街地へ広げていることが明らかとなった。卓越風の風下側で、人や自動車の通行量が少なく、日射を遮る樹木や建物がある等の条件が整う場所では、標高の高い地点でも冷気を観測することができた。もし卓越風の風下側に下りの斜面が続いていれば、冷気の及ぶ範囲がさらに広がる可能性もある。同様に、公園から市街地へと伸びる道路の両側に日射遮蔽効果を期待できる街路樹や住宅の庭木が続いていれば、公園内の冷気の温度をほぼ変えることなく市街地へと運ぶことが可能になるかもしれない。都市内の公園緑地は、このように周辺市街地の熱環境を改善する多くの可能性を持っているといえる。

謝辞

本調査の実施にあたり多大なご協力を頂いた、石神井公園サービスセンターの職員の皆様、東京都建設局・東部公園緑地事務所管理課の藤田様、練馬区立石神井小学校の校長先生、副校長先生、練馬区立石神井中学校の校長先生、副校長先生方に厚く御礼申し上げます。また気温観測にご協力頂いた専修大学環境地理学科の2014年度気候環境学ゼミナールの受講生に深く感謝致します。本稿は、第一著者が2014年12月に専修大学文学部へ提出した卒業論文を基にしたものである。本研究の一部は日本学術振興会科学研究費助成金(25242028)の支援により実施した。

引用文献

- 梶山貴弘(2010):夏期晴天日における都市内緑地の気温冷却効果とその形状依存性. 地理誌叢, 55-1, 1-13.
- 清水昭吾・菅原広史・成田健一・三上岳彦・萩原信介(2011):自然教育園における冷気のにじみ出し現象. 自然教育園報告, 42, 39-47.
- 東海林孝幸・高野啓太・北田敏廣(2010):豊橋市内の中規模緑地におけるクールアイランド現象の調査と周辺市街地に対する冷却効果. 日本ヒートアイランド学会論文集, 5, 33-39.
- 成田健一・三上岳彦・菅原広史・本條 毅・木村圭司・桑田直也(2004):新宿御苑におけるクールアイランドと冷気のにじみ出し現象. 地理学評論, 77-6, 403-420.
- 成田健一・菅原広史・横山 仁・三坂育正・松島 大(2011):皇居の冷気形成機能と周辺市街地への熱的影響に関する実測研究. 日本建築学会環境系論文集, 76, 705-713.
- 日原高志(2007):都立石神井公園三宝寺池周辺のクールアイランド観測とその環境教育教材化. 東京都立産業技術高等専門学校研究紀要, 1, 123-128.
- 丸田頼一(1972):公園緑地の都市自然環境におよぼす影響. 都市計画, 69・70, 49-77.
- 尹 龍漢・丸田頼一・本條 毅・柳井重人(1998):都市における公園内外の気温分布特性について. ランドスケープ研究 日本造園学会誌, 61-5, 769-772.
- 気象庁ホームページ: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> 最終閲覧日: 2015.2.13.
- 東京都公園協会ホームページ: <http://www.tokyo-park.or.jp/profile/> 最終閲覧日: 2015.2.13.